

## 임펠러 용접용 인덱스 테이블의 개발

정완보<sup>+</sup>, 김진우<sup>\*</sup>

(논문접수일 2009. 11. 20, 심사완료일 2010. 8. 4)

### Development of Welding Index Table for FD Fan Impeller

Wan-Bo Jeong<sup>+</sup>, Jin-Woo Kim<sup>\*</sup>

#### Abstract

This study is regarding development of an index table for automation of welding process in impeller fabrication. A PLC, which is widely used for automation in industry, was also adopted as a controller for the index table because of its effectiveness, easy maintenance and repair.

The index table consists of centering jig, blade jig, workbench, driving system and a controller. A touch screen was also prepared as a man-machine interface to provide convenience for workers. Water jacket was installed inside the workbench to reduce thermal stress come from the welding. Temperature of the water jacket was kept constant to cool an impeller main plate effectively. The index table developed in this study convinces that it reduces the total welding time by 50% compared with the conventional process without the table.

**Key Words** : Index Table(인덱스 테이블), Impeller(임펠러), PLC(전력선통신), Servo Motor(서보모터)

## 1. 서론

현재 국내 송풍기 관련 제조업체의 현황을 보면 소형 송풍기를 대량 생산할 경우 주조를 통해 생산하는 방식을 많이 채택하고 있다. 그러나 대형 송풍기를 제작하고 용량에 대한 종류가 다양할 경우 대량생산의 체계는 어려운 것이 현실이다. 따라서 대부분 인력을 사용한 수작업의 형태를 가지는 것이 일반적이다.

본 연구를 수행하는 조선기자재 중소기업의 경우 임펠러 작업은 주판, 블레이드, 상부커버 순서대로 용접을 수행하고 있으나, 주판을 고정하기 위해서 작업자가 지그 위에 장착된 클램프에 스페너 공구를 이용하여 볼트를 고정하며, 주판 주위를 회전하면서 작업을 수행하고 있다. 이로 인해 용접 작업시 주판 위에 장착되는 블레이드의 곡선 형상으로 인해서 작업자의 용접 자세가 불안정하고, 블레이드를 손으로 고정한 상태에서 가접하기 때문에 용접봉과 주판의 일정각도가

<sup>+</sup> 한국폴리텍항공대학 항공메카트로닉스과  
<sup>\*</sup> 교신저자, 한국기술교육대학 산학협력단 (kjlw66@kut.ac.kr)  
주소: 331-240 충남 천안시 서북구 부대동 415-1

유지되지 않아 용접불량의 발생 원인이 되어 왔다.<sup>(1)</sup>

따라서 작업시간이 증가되고 블레이드와 블레이드 사이의 간격이 일정하게 용접되지 않아 임펠러 회전시 용접 부위의 크랙이 발생하거나, 송풍기에서 발생하는 유량 맥동, 진동, 소음의 원인이 되고 있다.

임펠러의 경우 블레이드의 정확한 분할이 이루어질 때 편심을 최대한 억제시킬 수 있으며, 휠 밸런스 또한 최대한 유리하게 가져갈 경우 진동을 억제시켜 고품질의 송풍기를 생산할 수 있다. 이와 같이 송풍기에 있어 핵심기술인 임펠러의 설계도 중요하지만 이에 못지않게 생산기술 또한 중요한 위치를 차지하고 있는 것이 현실이다. 이러한 임펠러의 생산 공정을 공학적으로 접근하고, 작업자의 능력을 극대화시켜 임펠러의 생산품질을 향상시키는 노력이 필요하다.

인텍스 테이블에 관한 실질적인 연구는 1980년대에 중반에 들어와서 본격적으로 시작되어 응용사례가 국내외에서 다수 발표되고 있다.<sup>(2,3)</sup> 그러나 회전기의 핵심부품인 임펠러 용접을 위한 터치 스크린 방식의 인텍스 테이블에 관한 연구는 수행된 경우가 없는 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 중소기업의 작업장 상황에 맞게 터치 스크린 방식의 임펠러 용접 전용 인텍스 테이블을 개발하여, 작업자의 작업능률과 품질향상에 주안점을 두어 제품 경쟁력을 높이고자 한다.

## 2. 개발배경

### 2.1 작업공정의 시스템화

Fig. 1은 현재 조선기자재업체에서 시행하고 있는 임펠러 용접과정을 간략하게 나타낸 것이다. 작업공정을 보면 임펠러 주판을 바닥에 고정시킨 후 작업자가 임펠러를 생산하는 과정을 보여주고 있다.

임펠러 용접 전용 인텍스 테이블이 개발되면 합리적인 용접공법을 확립하여 자동화를 달성하게 되어 작업공정이 체계화되고, 작업공정이 시스템화 됨에 따라 데이터베이스가 구축되어 유지 및 보수가 용이하며 용접품질의 향상을 기대할 수 있다. 또한 설비 가동시 Set-up 시간 단축으로 생산성이 향상될 뿐 아니라 작업자가 손쉽게 사용할 수 있도록 인터페이스 부분을 터치스크린을 이용하여 조작하여 블레이드 개수에 따른 정확한 각도 분할을 수행할 수 있다.

### 2.2 생산성 향상

인건비 상승과 아울러 용접자의 절대부족에 대응하고, 3D

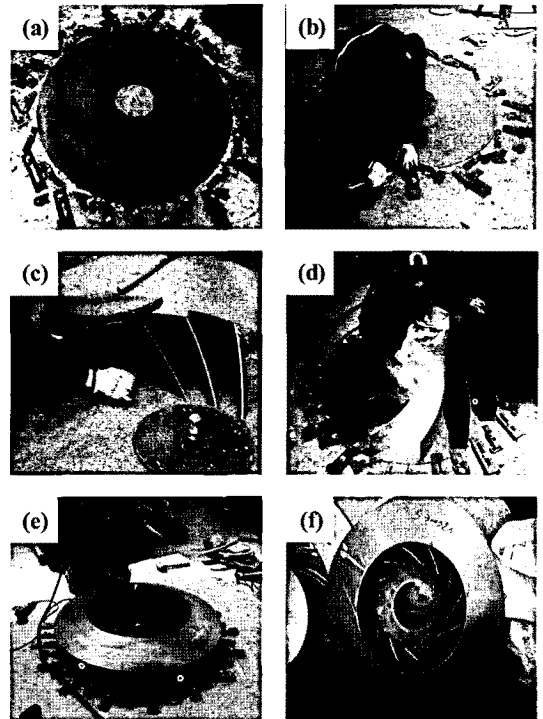


Fig. 1 Process of present impeller welding

의 대표적인 작업인 용접에 관한 노동환경과 능률향상을 도모할 수 있다. 또한 임펠러의 한 개당 용접시간이 4시간에서 2시간으로 단축되어 제품개발 전 대비 4~5배의 생산성 향상을 기대하고 있다.

용접시 발생하는 임펠러의 열변형이 발생할 경우 과거 대안이 없었으며, 현재 개발 중인 인텍스 테이블의 작업대 내부에 물통로(water jacket)를 설치하여 용접 열에 의한 열변형을 최대한 억제시켜 회전 밸런스 작업을 용이하도록 하였다.

## 3. 개발내용

### 3.1 센터링 및 블레이드 지그

임펠러 주판을 작업대에 올려놓으면 정확한 중심을 세팅하기위한 전용 지그가 자동으로 취부 될 수 있도록 Fig. 2와 같은 형태로 공압을 이용하여 자동으로 센터링 할 수 있도록 제작하였다. 이때 임펠러 주판을 올려놓거나 최종 임펠러를 완성하여 테이블에서 제거할 경우 인력으로 옮길 수 있는 중량이 아니기 때문에 작업장의 호이스트를 사용할 수밖에 없다. 따라서 임펠러를 테이블에 쉽게 탈-부착할 수 있도록

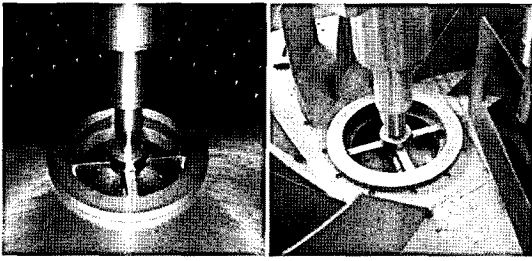
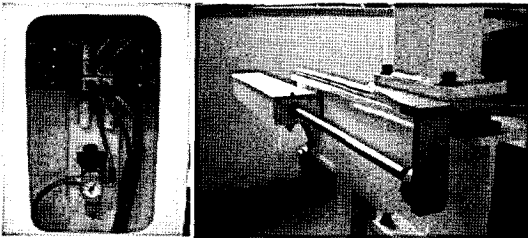


Fig. 2 Centering jig for impeller main plate



(a) pneumatic unit (b) pneumatic cylinder

Fig. 3 Pneumatic gantry for impeller movement

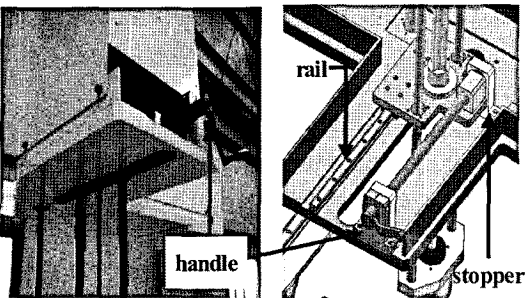


Fig. 4 Manual type blade position system

Fig. 3과 같이 공압용 이동식 겐트리를 설치하여 작업편의성을 확보하였다. 이때 겐트리 양쪽에 공압 실린더를 병렬로 연결하여 이동속도를 동일하게 맞추었다.

센터링 지그와 블레이드 지그의 작동은 공압을 사용하여 작동시키고, 임펠러의 경우 용량별 사이즈가 다르기 때문에 블레이드 지그의 경우 상하운동만 공압식을 사용하고, 사이즈에 따른 블레이드 영점은 Fig. 4와 같이 기어를 사용하여 핸들로 맞추는 방법을 채택하였다.

### 3.2 작업대 구성

임펠러를 작업대에 설치 후 센터링 지그가 중심을 잡으면

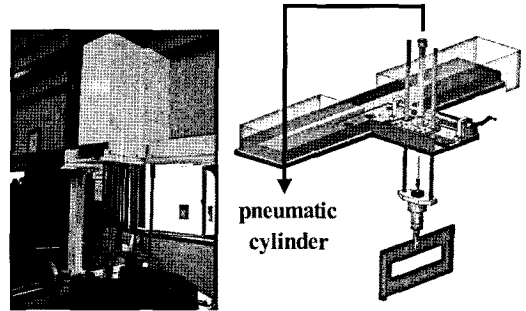
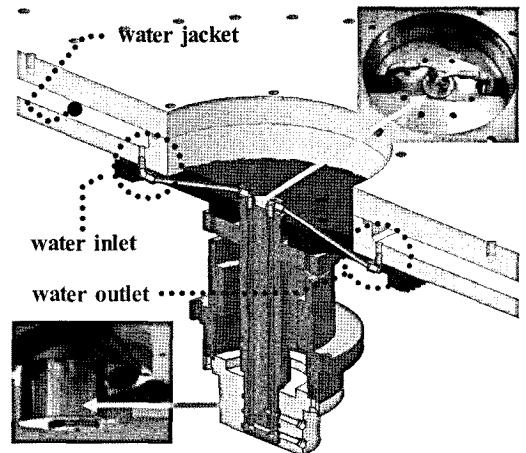


Fig. 5 Pneumatic type blade jig system



(a) Turn table

(b) Chiller



(c) cooling system

Fig. 6 Turn table and cooling system

임펠러 주판을 단단하게 고정시켜 용접시 발생하는 변형을 최대한 억제할 필요성이 있다. Fig. 5는 임펠러 사이즈 별로 주판을 고정할 수 있도록 클램프 홀을 설치한 후 주판 가장 자리를 클램프로 고정 시키는 방법을 채택하였다. 뿐만 아니라 Fig. 6과 같이 용접시 열변형을 최소화시키기 위해 작업

Table 1 Chiller specification

Cooling Capacity	2800 Kcal/hr
Flow Rate	5~20 l/min
Temperature Stability	±1.0℃
Refrigerant	R22

대 내부에 물통로(water jacket)를 설치하고 냉각기(chiller)를 사용하여 용접특성에 맞는 냉각온도를 자동으로 설정할 수 있도록 하였다. 따라서 용접시 고온으로 상승하는 임펠러의 경우 자연 공냉식에서 비접촉 강제 수냉식으로 전환시켜 용접 열응력에 의한 변형을 최소화 시켜 임펠러의 생산품질을 높이고자 하였다.

Table 1은 냉각기 기본적인 규격을 나타내고 있다. 냉각기에서 설정할 수 있는 최저온도는 상온 5℃까지 냉각수 온도를 설정할 수 있도록 설계하였다. 냉각수는 에틸렌글리콜(HOCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH)을 주성분으로 하는 부동액을 사용하였으며, 물과 7:3의 비율로 사용하였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 냉각수가 작동할 때 주판 상부 표면에 대한 온도분포를 예측하기 위해 전도열전달 해석을 수행하기 위한 경계조건과 계산결과를 취득할 센서위치를 나타내고 있다.

3.3 원점조정 및 각도분할

임펠러 주판을 고정한 후 모델별로 프로그램된 임펠러 날개의 개수가 다르다. 따라서 작업모델에 대한 각도분할 이전에 원점을 맞출 필요성이 있다.

PLC 제어를 통해 작동되는 인덱스 테이블의 경우 이전 임펠러 제품을 생산한 후 다음 임펠러를 제작할 경우 최초 용접되는 임펠러 날개의 위치를 Fig. 9와 같이 도그센서를 사용하여 드라이브 기어를 회전시켜 정위치에 이동시키도록 하였다.

임펠러 블레이드를 용접하기 위한 최초 영점 위치에 세팅이 완료되면 블레이드 각도분할 전용지그가 상부에서 내려오게 된다. 이때 작업자는 가 용접을 실시하게 되며, 서보모터에 의해 프로그램된 내용대로 각도 분할되어 회전한 후 두 번째 블레이드를 용접하기 위한 지그가 다시 내려오게 된다.

3.4 구동부 구성 및 위치제어방법

테이블을 회전시키기 위해 Fig. 10과 같이 서보모터에 감

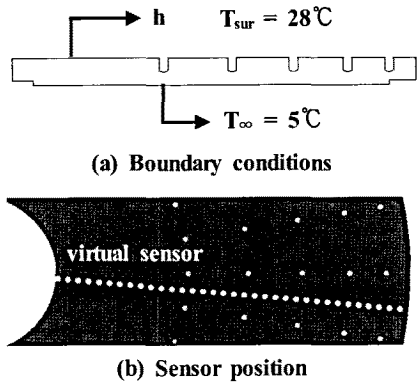


Fig. 7 Boundary conditions and sensor position

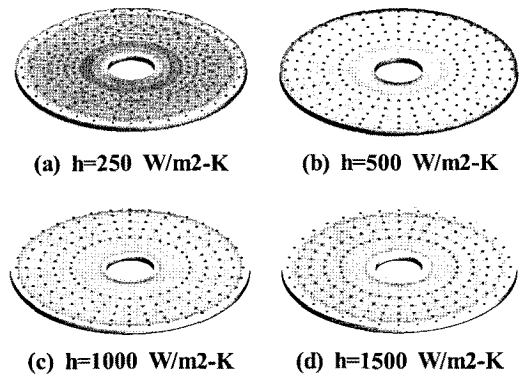


Fig. 8 Results of conduction heat transfer

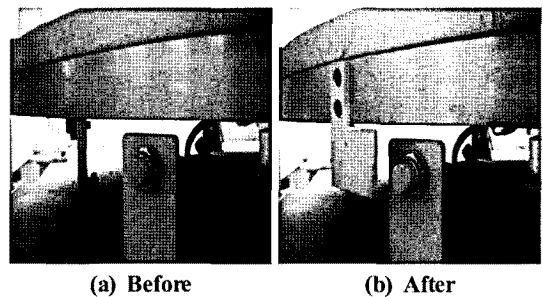


Fig. 9 Sensor for starting point

속기를 설치하여 구동기어로 힘을 전달시켜 회전운동을 전달한다. 이때 큰 감속비(70:1)를 사용하여 하중을 충분히 견디면서 회전시킬 수 있도록 하였다. 인덱스 테이블에 사용된 서보모터는 3상 AC 123V의 입력값을 가지고 1kW의 출력값을 가지며, 최대 2000rpm 회전수를 가지고 있다.

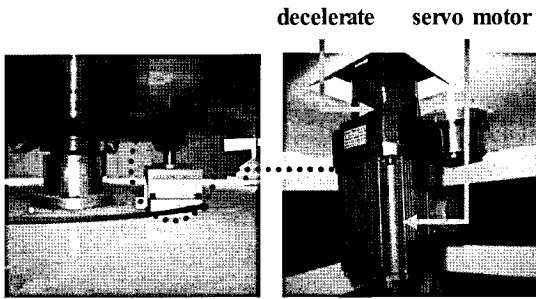


Fig. 10 Drive gear and servo motor

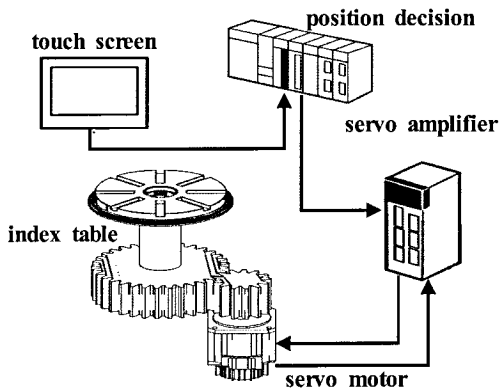


Fig. 11 Composition of control system for impeller index table

기존의 수작업에 의한 작업내용을 살펴보면 정확한 위치에 블레이드를 용접하기 위하여 메인 플레이트(하부)에 NC 등을 이용하여 블레이드가 위치할 위치에 각도표시를 하여 작업자가 수작업으로 해당 위치에 블레이드를 위치시키고 있다. 이러한 작업공정 개선 및 수작업에 의한 블레이드 위치 변형을 방지하기 위하여 0.001°단위의 각도 분할이 가능한 서보모터를 이용한 블레이드 장착용 인덱스 장치 개발하였다. 인덱스 장치는 인덱스 테이블(Index Table)을 일정각도로 분할하여 고정시키기 위한 장치로서 전체적인 구성은 Fig. 11과 같다.<sup>(4~6)</sup>

Fig. 12는 인덱스 테이블 위치정밀도를 0.001° 단위로 제어하기 위한 전자기어비 설정 시스템을 나타내고 있다. 서보 드라이버를 사용하여 작업대 위치를 제어하기 위해 펄스타임으로 제어되고, 0.001° 단위로 1개의 전기적 펄스신호를 서보 드라이브로 전송된다. 즉, 위치결정 장치에서 360,000

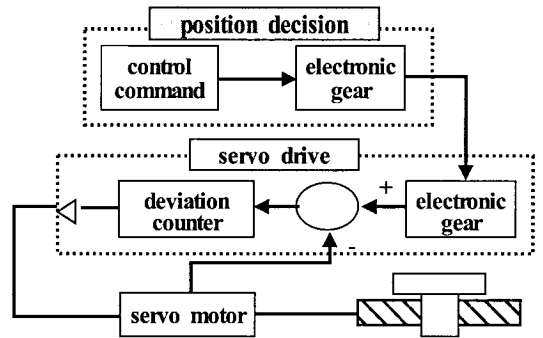


Fig. 12 Composition of index table system for electronic gear ratio set up

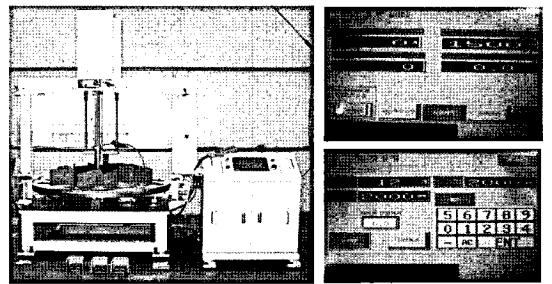


Fig. 13 Developed welding index table for only fan impeller and touch screen

개의 펄스를 서보 드라이브에 전송하면 서보모터를 구동시켜 작업대를 1회전 시키게 된다. 따라서 작업대를 1회전 시키기 위해 서보모터에서 100,925,440개의 펄스 수를 발생시킨다.<sup>(6)</sup>

위치결정모듈에서 서보드라이브에 360,000개의 전기펄스를 입력하게 되면 서보모터를 회전시켜 서보모터 엔코드에서 100,925,440개의 펄스가 발생할 때 서보모터의 회전을 중지하게 되면 인덱스 테이블은 1회전하게 된다. 따라서 0.001도 단위로 인덱스 테이블 제어에 필요한 위치결정모듈의 펄스는 1개이고 서보모터에서 0.001°회전 했을 때 발생하는 전기펄스 수는 280.348이 된다. 즉 지령단위의 전기펄스 수와 피드백의 펄스 수가 다르기 때문에 지령단위의 펄스 수를 피드백의 펄스 수와 일치시키기 위하여 서보앰프 및 위치결정모듈의 전자기어비를 설정하였다.

인덱스 테이블을 통제하는 제어부와 작업대 및 임펠러 용접을 위한 지그를 조립하여 Fig. 13과 같은 송풍기 임펠러용 용접 인덱스 테이블 자체 개발에 성공하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 중소기업의 작업장 상황에 맞게 터치스크린 방식의 임펠러 용접 전용 인덱스 테이블을 개발하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 터치 스크린을 이용하여 블레이드 개수에 따른 인덱스 테이블의 각도 분할이 정확해져 작업공정이 시스템화 되고 용접 품질의 우수성을 확보할 수 있는 계기를 마련하였다.
- (2) 공압 실린더를 사용하여 임펠러 주판 센터링 지그를 통해 임펠러를 중앙에 위치시킬 수 있었으며, 임펠러 블레이드 취부 지그를 통해 블레이드 용접위치를 정확하게 찾을 수 있었다.
- (3) 전도 열전달 해석을 통해 인덱스 테이블 주변 대류열전달 계수가 높을수록 주판의 냉각온도는 둔화됨을 알 수 있었다.
- (4) 임펠러 1개당 용접시간이 4시간에서 2시간으로 단축되어 제품개발 대비 4-5배의 생산성 향상이 가능하고, 작업자의 노동환경이 개선됨을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- (1) Samwon Heavy Co., 2007, *Development of Welding Fume & Index Table*, Technical Business, Republic of Korea, pp. 25~85.
- (2) Jang, S. C. and Jung, W. B., 2007, *Welding Type Index Table*, Korea Patent:2007-0063902.
- (3) Cho, H. D., Jung, D. I., Yoon, M. C., and Chol, D. S., 2002, "The Development of Exclusive CAD/CAM System for Impeller Blades Formed by Ruled Surface II -A Study on the 5-Axis Machining," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 11, No. 3, pp. 1~7.
- (4) Kim, H. S. and Kim, E. J., 2003, "Feed-forward control of fast tool servo for real-time correction of spindle error in diamond turning of flat surfaces," *International Journal of Machine Tools & Manufacturing*, Vol. 43, pp. 1177~1183.
- (5) Yang, S. K., 2003, "Development of the Hub Auto-Welding System," Jinju National University, A Thesis for a Degree of Master, Republic of Korea.
- (6) Yoo, D. N., 2005, "An Implementation of PLC Controlling System for Factory Automation Using Touch Screen and Web Browser," Chosun University, A Thesis for a Degree of Master, Republic of Korea.